第40卷 第1期　　昆　虫　学　报　　Vol. 40, No. 1
1997年2月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Feb., 1997

营养和幼期密度对棉铃虫飞翔能力的影响

吴孔明　　郭予元
(中国农业科学院植物保护研究所　北京　100094)

摘要　采自棉花、玉米、花生、绿豆和芝麻5种作物上的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)，其飞翔能力依次为：棉花和玉米＞花生＞绿豆和芝麻。对室内利用人工饲料、棉铃、棉蕾和棉叶饲养的棉铃虫吊飞表明，取食人工饲料和棉铃的个体的飞翔能力数倍于取食棉叶者。成虫体重越大，飞翔能力越强。获得补充营养个体的飞翔距离是无补充营养者的2倍左右。本试验还研究了食物质量对棉铃虫卵巢发育的影响，结果显示成虫期的补充营养明显影响幼期营养较差个体的卵巢发育进程。对不同幼虫密度下发育个体的吊飞则表明成虫的飞翔能力和幼期密度关系不大。鉴于较差的营养条件和较高的幼期密度并不导致成虫飞翔能力的增加，本文认为，棉铃虫的远距离运动是成虫对羽化阶段不良环境的行为反应。

关键词　棉铃虫，飞翔能力，营养，幼期密度

运动性是棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 在农业生态系统中占据重要位置的生物学基础[1,2]。前人的研究已表明棉铃虫具有复杂的运动特征，棉铃虫的远距离迁飞已得到了较为广泛的证实[1~3]。营养和种群密度是导致昆虫迁飞的主要因素，恶劣的营养条件和较高的种群密度常常诱导种群中分化出迁飞型个体。和非迁飞个体相比较，迁飞型个体常常具有较强的飞翔能力和较慢的卵巢发育速度[4]。因此，研究营养和幼期密度对飞翔能力的影响对阐明棉铃虫的迁飞机理有着重要的意义。本文报告了有关的研究结果。

1　材料与方法

1.1　供试棉铃虫

供试棉铃虫分为田间采集和室内饲养2类。

1.1.1　田间采集棉铃虫：于1993年8月中旬采于河南省新乡县棉花、玉米、花生、绿豆和芝麻5种作物田。采集5～6龄幼虫，单头饲养，保持和田间相似的营养条件直至化蛹。在室温下羽化供试。

1.1.2　室内饲养棉铃虫：将初孵幼虫分别用棉叶（采自棉株中部）、棉蕾、棉铃和人工饲料喂养。饲养时每隔1d更换新鲜的棉叶、棉蕾和棉铃以避免失水和变质影响棉铃虫的发育。人工饲料的主要成分为大豆粉、玉米粉、酵母粉、食糖及维生素C等物质。

成虫羽化后，设置有、无补充营养2个类别。前者饲以10%糖水，后者喂清水。养虫室温度26℃，相对湿度70%～80%，光周期15∶9（光照时数∶黑暗时数）。

1995-03-09收稿，1995-06-14收修改稿

1.2 不同密度幼虫的饲养方法

将初孵幼虫接入底径2 cm、高8 cm的指形管中，管内放置10 g人工饲料。设每管1、2、3、4和5头5个密度处理。逐日观察棉铃虫的生长发育状况，羽化的成虫饲以糖水，供吊飞使用。本项试验于1993年7～8月进行，棉铃虫于室内自然条件下培养。

1.3 棉铃虫飞行参数的测试方法

棉铃虫的飞行参数利用昆虫飞行磨测定。测试时选取有代表性的成虫，先把它用乙醚麻醉，除去中胸小盾片上的鳞片，然后用502胶粘接在细铜丝上，再固定于飞行磨的吊杆上，由计算机系统记载飞行参数。每处理测定10～15头，测试期间保持全黑暗，控制温度24℃、相对湿度75%。

2 结果与分析

2.1 取食不同寄主植物棉铃虫的飞翔能力比较

表1为采自5种寄主作物田棉铃虫的吊飞结果。从中可以看出，取食棉花和玉米的棉铃虫具有较强的飞行能力，4日龄蛾的飞行距离达70 km以上，取食花生的棉铃虫4日龄蛾的飞翔距离为50.85 km，和取食棉花与玉米的棉铃虫无显著性差别。取食绿豆和芝麻的飞翔能力则明显低于棉花和玉米，其4日龄蛾的飞行距离仅分别为40.56和35.89 km。从最大飞翔速度看，5种作物棉铃虫之间无显著性差别，寄主植物对棉铃虫飞翔的影响主要表现于飞行时间的差别。如以2个吊飞日龄飞行距离的平均值来评价取食5种寄主作物棉铃虫的飞翔能力，则由强至弱的相对顺序是：棉花、玉米、花生、绿豆和芝麻。

棉铃虫的采集地为典型的黄河冲积平原，棉花、玉米、花生、绿豆和芝麻是该地区的主要夏秋作物，1993年棉铃虫在此5种作物上普遍严重发生。3代棉铃虫在棉田与玉米田主要取食棉蕾、铃和玉米雌穗，在绿豆、花生和芝麻田则以叶片为主。由于营养质量的差别，棉铃虫的发育状况存在不同，取食花生、绿豆、芝麻的蛹重分别是213.6 mg、203.7 mg和172.1 mg，明显低于棉花和玉米（245.1 mg和242.2 mg)。棉铃虫飞翔能力的测定结果和此种营养状况呈显著的正相关。

2.2 取食棉叶、棉蕾、棉铃及人工饲料棉铃虫的飞翔能力比较

取食棉花不同器官和人工饲料棉铃虫的飞行能力如表2所示。4种幼期食物条件下发育的棉铃虫的飞行能力有着明显的差别，总体趋势为人工饲料＞棉铃虫＞棉蕾＞棉叶。取食棉铃和人工饲料棉铃虫的飞翔能力数倍于取食棉叶的棉铃虫。取食棉铃的棉铃虫3个吊飞日龄保持18.74～21.19 h的飞行时间，个体最长飞行时间达23.5 h，最远飞行距离为165.38 km。取食人工饲料个体的飞行时间皆达20 h以上，最长达24 h，最远距离达181.32 km，绝大多数个体飞行距离超过100 km。24 h吊飞期间内蛾子存活率达100%，而取食棉叶的个体多数在飞行过程中死亡，4日龄飞行距离仅为55.27 km，各日

表 1　取食不同寄主植物棉铃虫的飞翔能力(24 h 吊飞)

寄主	2 日龄蛾			4 日龄蛾		
	平均飞行距离 (km)	平均飞行时间 (h)	平均最大飞行速度 (m/s)	平均飞行距离 (km)	平均飞行时间 (h)	平均最大飞行速度 (m/s)
棉花	45.44±19.84 a A	10.56±1.11 a A	1.66±0.48 a	79.39±29.39 a A	21.28±2.95 a A	1.97±0.44 a
玉米	44.33±23.64 a A	12.19±5.57 a A	1.89±0.57 a	71.19±33.97 ab A	14.90±3.14 b AB	2.16±0.76 a
花生	26.08±12.08 ab AB	8.08±3.30 ab AB	1.62±0.65 a	50.85±27.90 abc A	12.56±4.65 b B	1.78±0.34 a
绿豆	13.74±3.55 b B	3.97±1.24 b B	1.73±0.32 a	40.56±17.34 bc A	12.92±4.37 b B	1.71±0.59 a
芝麻	17.35±12.78 b AB	5.84±3.35 b AB	1.21±0.36 a	35.89±26.25 c A	10.12±6.27 b B	1.53±0.43 a

表 2　取食棉叶、棉蕾、棉铃及人工饲料棉铃虫的飞行能力(24 h 吊飞)

食物	2 日龄蛾			4 日龄蛾		
	平均飞行距离 (km)	平均飞行时间 (h)	平均最大飞行速度 (m/s)	平均飞行距离 (km)	平均飞行时间 (h)	平均最大飞行速度 (m/s)
棉叶	23.77±7.50 c B	8.67±2.99 c B	1.53±0.36 a	55.27±26.12 c C	14.34±5.73 b B	1.66±0.39 c B
棉蕾	62.96±22.26 b A	14.62±3.78 b A	2.00±0.54 a	88.01±17.62 b BC	18.37±2.93 ab AB	2.17±0.36 b AB
棉铃	29.42±23.94 ab A	18.78±4.78 ab A	2.23±0.36 a	126.43±25.56 a AB	21.20±2.09 a A	2.23±0.21 b AB
人工饲料	97.16±19.75 a A	20.40±3.53 a A	2.09±0.29 a	135.96±27.76 a A	22.66±1.63 a A	2.69±0.42 a A

龄的飞行时间均不超过15 h。因而可以认为，幼期营养状况是决定棉铃虫成虫飞翔能力的重要因素。

2.3 成虫体重和飞翔能力的关系

成虫的体重是反映棉铃虫幼期营养状况的一个基本指标。图1、2是对体重50～200 mg的3日龄蛾子的吊飞结果。从中可以看出，体重和飞行距离呈明显的正相关。如以 W 表示成虫体重（mg），D 和 T 分别表示吊飞24 h的飞行距离（km）和飞行时间（h），则可用下述方程描述成虫体重和飞行时间及距离的关系：

$$D = 0.6688W - 32.02 \pm 22.52 \qquad T = 0.1281W - 4.00 \pm 3.72$$

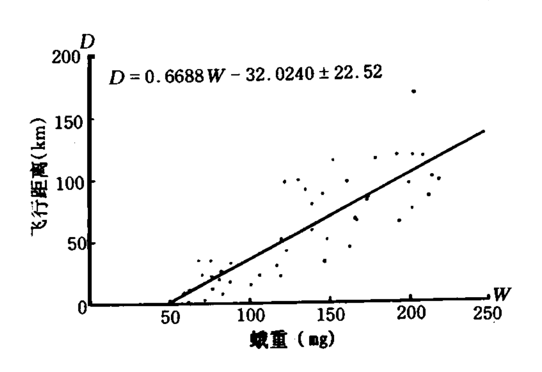


图1 棉铃虫飞行距离与蛾重的关系（3日龄蛾子吊飞24 h）

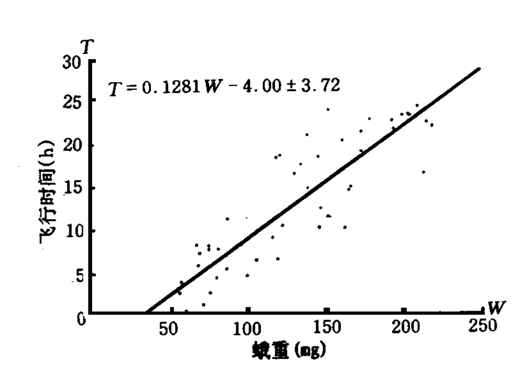


图2 棉铃虫飞行时间与蛾重的关系（3日龄蛾子吊飞24 h）

2.4 成虫补充营养对棉铃虫飞翔能力的影响

从吊飞结果看（表3），成虫期的补充营养对飞翔能力亦有较大的影响，幼期取食棉叶无补充营养的4日龄蛾子的平均飞行距离仅为有补充营养个体的34.22%。幼虫期如取食人工饲料，无补充营养的4～6日龄蛾飞行距离相当于有补充营养的33.57%～48.67%。2个处理飞行距离的降幅相仿，飞行时间和飞行速度亦显示同样的减少趋势。故此可以看出，成虫期的补充营养也是棉铃虫持续飞行的重要因素。

表3 成虫无补充营养下的飞行能力（吊飞24 h）

蛾龄 (d)	幼虫取食棉叶			幼虫取食人工饲料		
	平均飞行距离 (km)	平均飞行时间 (h)	平均最大飞行速度 (m/s)	平均飞行距离 (km)	平均飞行时间 (h)	平均最大飞行速度 (m/s)
2	22.21±12.88	5.12±1.62	1.69±0.63	45.80±34.98	13.42±6.68	2.06±0.49
4	28.74±5.24	7.96±0.79	1.31±0.12	66.13±20.84	12.75±0.79	2.03±0.38
6	12.81±8.70	3.34±1.69	1.37±0.42	44.62±14.79	9.98±3.02	1.87±0.23
8	6.87±1.24	1.79±0.37	1.37±0.34	24.82±12.67	6.63±2.95	1.76±0.07

2.5 营养对棉铃虫卵巢发育的影响

表 4 为不同营养状态下棉铃虫卵巢发育至成熟所需时间。卵巢的分级标准参见参考文献 5。

在成虫有补充营养条件下，取食棉叶个体的卵巢发育相对较快。随着营养条件的改善，卵巢发育减缓，但怀卵数量及卵巢管长度明显增加。若成虫不补充营养，则幼期营养较差，个体的卵巢发育速度显著减慢，取食棉叶个体卵巢发育至 2 级的时间由 2.40 d 增加到 5.50 d，且部分个体只能发育到 2 级便死亡。营养条件中等的处理（取食棉铃），卵巢发育前期无明显变化但卵期显著缩短，卵巢发育成熟后很快完成产卵过程。对幼期营养条件好的个体（取食人工饲料者），卵巢发育状况无明显变化。

表 4　不同营养条件下棉铃虫卵巢发育进度（成虫羽化天数）

处　理	卵巢发育级别		
	1	2	3
幼虫取食棉叶、成虫不补充营养	3.00±1.85 a A	5.50±3.39 a A	4.50±2.35 a
幼虫取食棉铃、成虫不补充营养	1.60±0.89 b AB	2.80±1.30 b B	4.20±1.64 a
幼虫取食人工饲料、成虫不补充营养	1.40±0.55 b AB	2.60±0.55 b B	4.00±0.71 a
幼虫取食棉叶、成虫补充营养	1.18±0.40 b AB	2.40±0.52 b B	3.36±0.50 a
幼虫取食棉铃、成虫补充营养	1.50±0.55 b B	2.83±0.98 b B	3.83±0.98 a
幼虫取食人工饲料、成虫补充营养	1.67±0.52 b B	3.17±0.75 b B	4.33±0.81 a

2.6 幼期密度对成虫飞翔能力的影响

对不同幼虫密度棉铃虫生长的观察表明，在各个密度下 1～3 龄期间的生长状况差别不大，4 龄后高密度下的自相残杀增加，每管 1、2、3、4 和 5 头幼虫密度下的化蛹率分别为 94.51%、46.25%、31.94%、14.40%和 9.34%，显示了幼虫较强的自身密度调节能力，平均蛹重分别为 322.1、313.4、281.3 和 277.2 mg，随密度增加呈降低趋势。对羽化成虫的吊飞结果汇于表 5，从中可以看出不同处理间棉铃虫的飞翔能力无显著性差别，幼期高密度并不导致成虫飞翔能力的增加。

表 5　幼虫期密度对成虫飞翔能力的影响（24 h 吊飞）

密度(头/管)	日龄(d)	平均飞行距离(km)	平均飞行时间(h)	平均最大飞行速度(m/s)
1	2	88.322±25.774 a	18.93±4.51 a	1.90±0.36 a
2		83.473±34.292 a	18.81±5.61 a	2.12±0.31 a
3		85.162±9.437 a	20.64±3.56 a	1.79±0.29 a
4		79.677±25.254 a	20.26±2.53 a	1.78±0.59 a
5		88.786±9.840 a	21.28±3.58 a	2.03±0.25 a
1	4	116.684±40.089 a	20.06±3.70 a	2.34±0.43 a
2		116.459±15.143 a	22.00±1.90 a	2.22±0.20 a
3		103.784±12.080 a	20.64±3.56 a	2.30±0.07 a
4		112.413±24.240 a	19.64±2.78 a	2.17±0.47 a
5		93.425±29.210 a	21.56±1.73 a	2.14±0.63 a

3 讨论

关于环境条件引起昆虫迁飞有二种机制，一种是由于某些环境条件的作用影响昆虫的发育进程，导致产生迁飞型成虫；另一种是昆虫的成虫对当时不良环境条件的行为反应。从本试验的研究结果看，幼虫期高密度和较差的食物质量并不导致棉铃虫成虫飞翔能力的增加，也就是说幼期食物质量和密度并不诱导型的分化。限制飞行能力的因素不是成虫飞行器官的结构，而是体内贮存能源的多少。因而可以认为棉铃虫的迁飞和幼期环境无直接的关系，而主要取决于成虫期的环境条件。

从食物对棉铃虫卵巢发育的影响程度来看，幼期营养较好条件下（如取食人工饲料）成虫期不需要补充营养就可完成正常的生殖过程。但在自然条件下，多数个体的营养处于中等（取食棉铃）以下，羽化的成虫需获取补充营养来完成生殖活动。如遇天气干旱、种群密度过大等因素导致可供取食的蜜源植物、产卵植物贫乏，以棉铃虫成虫所拥有的较强的飞翔能力进入气流层完成远距离运动是完全可能的。

参 考 文 献

1 Fitt G P. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. Ann. Rev. Entomol., 1989, **34**: 17～24

2 Farrow R A, Daly J C. Longrange movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera: Noctudae): a review of its occurrence and detection in four pest species. Aust. J. Zool., 1987, **35**: 1～24

3 Pedgley D E. Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctudae): to the British Isles. Entomol. Gaz., 1985, **36**: 15～20

4 陈若篪. 迁飞昆虫学. 北京：农业出版社，1989，360～396

5 南京农学院主编. 昆虫生态及预测预报. 北京：农业出版社. 1985，315～317

EFFECTS OF FOOD QUALITY AND LARVAL DENSITY ON FLIGHT CAPACITY OF COTTON BOLLWORM

Wu Kongming Guo Yuyuan

(*Institute of Plant Protection, Chinese Agricultural Academy of Sciences Beijing* 100094)

Abstract The flight capacity of adult cotton bollworms *Helicoverpa armigera* (Hübner) developed from the larvae collected separately from cotton, corn, peanut, mungbean and sesame fields and from those fed separately on cotton leaf, square and boll and artificial diet were tested. The result indicated that the order of host plants and diets in relation to flight capacity of adult followed cotton(boll>square>leaf)/corn>peanut>mungbean/sesame and artificial dite. In·diet series concerning the flight energy of the adults, the effect of the best food may exceed more than two times that of the most inferior food. The flight distance increased with the body weight of the moth, and the flight capacity of moths with complementary nutrition was about two times as much as those without adult nutrition. It was found that the maturation process of eggs in the moths derived from cotton leaf reared larvae was significantly prolonged in comparison with that from cotton boll reared larvae. The result also showed that the flight capacity of moths was irrelevant to the density of their larvae. Since the flight capacities of moths were not improved by poor food and high density in larval stage, it was suggested that the long-distance movement of cotton bollworm is an important behavioral response of adults to other disadvantageous environmental factors.

Key Words cotton bollworm, flight capacity, food quality, larval density